Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 4, Oct- Nov 2021, p. 569-581

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۰، ص. ۵۸۱-۵۶۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی تاثیر استفاده توأم از تخمیر کنترل شده جو دوسر و پودر عناب بر بافت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان گندم حجیم تولیدی

فهیمه حاجی‌نیا[1]- علیرضا صادقی[2]*- علیرضا صادقی ماهونک[3]- مرتضی خمیری[3]- یحیی مقصودلو[3]- علی مؤیدی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶

چکیده

در سال‌های اخیر، اهمیت غنی‌سازی نان گندم با بسترەهای تخمیری و منابع گیاهی، بیشتر مشخص گردیده است. در این پژوهش، تأثیر استفاده توأم از جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب بر بافت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان گندم تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، سفتی بافت، تخلخل، حجم مخصوص، پذیرش کلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نان‌های گندم حاوی جو دوسر تخمیر شده، پودر عناب و مخلوط آن‌ها در مقایسه با نمونه شاهد ارزیابی شد. میزان تخلخل در تمام نان‌های تولیدی به شکل معنی‌داری ($p<0/05$) بیشتر از نمونه شاهد بود. با افزودن جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب، تغییری در میزان پذیرش کلی نان‌های تولیدی مشاهده نگردید و نمونه‌های تولیدی از این نظر تفاوت معنی‌داری نداشتند. نان حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب دارای بیشترین میزان سفتی بافت و کمترین مقدار حجم مخصوص بود. قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH نیز در تمام نمونه‌ها به شکل معنی‌داری از نمونه شاهد بیشتر بود و نان گندم حاوی جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب با ۹۰/۵۲ درصد بالاترین میزان قابلیت بازدارندگی را به‌خود اختصاص داد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، استفاده از فرمولاسیون بهینه حاوی جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب جهت تولید نان‌های غنی شده می‌تواند نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تخمیر کنترل شده جو دوسر، پودر عناب، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، نان گندم غنی شده.

مقدمه

نان، اصلی‌ترین منبع غذایی و فراورده ارزانی در رژیم غذایی روزانه مردم در بسیاری از نقاط جهان به‌شمار می‌رود. این محصول حاوی کربوهیدرات، پروتئین، فیبر و ریزمغذی‌ها می‌باشد. از مهمترین روش‌های بهبود کیفیت نان می‌توان به تخمیر غلات و استفاده از منابع گیاهی اشاره کرد (Mildner-Szkudlarz *et al*., 2011). استفاده از خمیرترش در فرآوری نان، قدمتی دیرینه دارد. خمیرترش به سیستم بیولوژیکی پیچیده حاصل از تخمیر آرد غلات یا اجزاء آن با آب گفته می‌شود که اساس تشکیل آن همزیستی بین باکتری‌های اسید لاکتیک و مخمرهایی است که مسئول ور آوردن و اسیدی کردن خمیر می‌باشند (Bastetti, 2001). در مطالعات متعددی نشان داده شده که تخمیر خمیرترش می‌تواند بدون اثرات نامطلوب، منجر به بهبود بافت، عطر و طعم نان تولیدی شود (Katina *et al*., 2005). بنابراین، استفاده از تخمیر خمیرترشی می‌تواند راهکار مناسب و جامعی برای تهیه نان با کیفیت فناوری و تغذیه‌ای از آرد غلات محسوب گردد. در این بین، نوع و میزان خمیرترش مورد استفاده، شدت اثر آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gobbetti *et al*., 2014).

جو دوسر، حاوی مقادیر زیادی مواد مغذی با ارزش مانند فیبرهای محلول، اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب غیراشباع، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات فیتوشیمیایی است (Flander *et al*., 2008). اثرات سلامتی‌بخش جو دوسر به‌طور عمده به بتاگلوکان نسبت داده می‌شود که توانایی کاهش کلسترول خون و جذب گلوکز از روده را دارد. همچنین جو دوسر به‌عنوان یک منبع بالقوه از ترکیبات ویژه آنتی‌اکسیدانی محسوب می‌شود. آنتی‌اکسیدان‌های جو دوسر شامل ویتامین E (توکوفرول‌ها)، اسیدهای فنولیک، فلاوونوئیدها و استرول‌ها می‌باشند (Peterson, 2001). عناب نیز منبع غنی از پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و سایر ترکیبات فعال است. عناب تازه و خشک، سرشار از فیبر، مواد معدنی، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آلی و ترکیبات فرار بوده که مولد عطر و طعم دلپذیری هستند. همچنین میوه عناب به‌عنوان منبع مناسبی از اسیدهای فنولیک، کاروتنوئیدها،

[1]، [2]، [3] و [4]- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار، استاد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
(* - نویسنده مسئول: Email: sadeghi.gau@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.87042

ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین C، فلاونوئیدها و سربروزیدها مطرح می‌باشد (Li *et al*., 2007).

با توجه به اثرات نامطلوب افزودنی‌ها و بهبود دهنده‌های شیمیایی، اهمیت ارائه جایگزین‌های طبیعی نظیر بسترههای تخمیری و منابع گیاهی در فرآوری نان کاملاً ملموس می‌باشد. بهترین جایگزین‌ها بدین منظور، شامل خمیرترش و منابع گیاهی غنی از فیبر و ریزمغذی‌ها هستند. Banu و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی قابلیت استفاده از آنزیم زایلاناز و تخمیر خمیرترش بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر، خواص آنتی‌اکسیدانی و کیفیت نان گندم حاوی سبوس جو دوسر پرداختند. این محققین دریافتند که استفاده از این آنزیم و افزودن خمیرترش به دلیل تغییر نسبت بین فیبر محلول و نامحلول، سبب افزایش حجم مخصوص، سفتی بافت و مقدار فنول تام در نان می‌شود. نتایج پژوهش Hüttner و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داد که خمیرترش جو دوسر، صرف نظر از سطح یا نوع خمیرترش مصرفی سبب افزایش حجم مخصوص و بهبود بافت نان جو دوسر شده و لذا کیفیت نهایی نان تولیدی را افزایش می‌دهد. Verardo و همکاران (۲۰۱۸) با افزودن مقادیر مختلف باکویت به نان گندم به بررسی میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان‌های تولیدی پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که به تناسب افزایش میزان باکویت در نان‌های تولیدی، میزان ترکیبات فنولی نیز افزایش یافت. علاوه بر این، نان‌های غنی شده در مقایسه با نمونه شاهد دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بهتری بودند. Irakli و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور تهیه نان گندم غنی شده از آرد سبوس برنج و تخمیر تصادفی خمیرترش در فرمولاسیون نان استفاده نمودند. سپس خصوصیات پخت، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و زیست دسترسی به ترکیبات فنولی در نان‌های تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفت. این محققین دریافتند که استفاده از تخمیر خمیرترش همراه با آرد سبوس برنج باعث افزایش حجم و امتیاز ارزیابی حسی نان تولیدی گردید. همچنین نان‌های غنی شده در مقایسه با نمونه شاهد، دارای محتوای فنولی بالاتر و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پایین‌تری بودند.

امروزه به جز بسترههای تخمیری، غنی‌سازی نان با منابع گیاهی نیز حائز اهمیت می‌باشد. میوه‌ها به دلیل دارا بودن ترکیبات زیستی‌فعالی نظیر پلی‌فنول‌ها و کاروتنوئیدها از ارزش غذایی بالایی برخوردار هستند. بنابراین با افزودن این ترکیبات به نان می‌توان ترکیبات فنولی تام و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان‌های تولیدی را افزایش داد (Betoret and Rosell., 2020; Mildner-Szkudlarz *et al*., 2011).

Bae و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مقادیر مختلف عصاره عناب، نان گندم حاوی عصاره عناب تولید کردند. این محققین خصوصیات فیزیکوشیمیایی نان‌های تولیدی را مورد مطالعه قرار داده و گزارش دادند که افزودن عناب باعث بهبود کیفیت نان گردید. Dhen و همکاران (۲۰۱۸) خواص فیزیکوشیمیایی و حسی نان گندم حاوی مقادیر مختلف آرد هسته زردآلو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تا ۸ درصد جایگزینی آرد گندم با آرد هسته زردآلو، روش مؤثری برای غنی‌سازی نان گندم، بدون تغییر در خواص فیزیکی و بافتی مطلوب آن بود. این جایگزینی در سطح بالاتر از ۱۲ درصد، منجر به کاهش حجم نان، رنگ قهوه‌ای پر رنگ، بافت سخت و طعم نامطلوب در نان‌های تولیدی گردید. Saadoudi و همکاران (۲۰۱۷) نسبت‌های مختلف آرد گندم و عناب را با یکدیگر مخلوط کرده و از آن در فرمولاسیون بیسکویت استفاده نمودند. نتیجه آزمون ارزیابی حسی نشان داد که تمام نمونه‌های تولیدی از نظر پذیرش کلی مورد قبول واقع شدند اما نمونه دارای ۱۰۰ درصد آرد گندم و نمونه حاوی ۵۰ درصد گندم و ۵۰ درصد عناب، بیشتر مورد توجه قرار گرفت. همچنین مشخص شد که استفاده از مقادیر بیشتر از ۵۰ درصد آرد عناب، موجب کاهش پذیرش کلی نمونه‌های تولیدی گردید. Karrar و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از سطوح مختلف خمیرترش سورگوم با مخلوطی از *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*[1] و *لاکتوباسیلوس برویس*[2] و افزودن سطوح مختلف از پودر میوه کنار، نان تولید کردند. سپس خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی نان‌های تولیدی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش، حاکی از آن بود که با افزایش مقدار خمیرترش سورگوم، حجم مخصوص نان‌های تولیدی کاهش و سفتی بافت آن‌ها افزایش یافت. همچنین افزودن پودر کنار به نان، سبب افزایش ظرفیت نگهداری گاز و متعاقباً افزایش حجم مخصوص نان تولیدی گردید. نتایج آزمون ارزیابی حسی نیز نشان داد که تمام نان‌های تولیدی، توسط ارزیابان مورد قبول قرار گرفتند. صادقی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نان حاوی خمیرترش سبوس برنج و پوره کدو سبز تولید نمودند. نتایج این محققین، حاکی از بهبود خصوصیات فناوری-عملکردی نان تولیدی نظیر سفتی بافت، پذیرش کلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن بود. همچنین Mildner-Szkudlarz و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تخمیر کنترل شده چاودار و فرآورده‌های جانبی انگور، نان تولید کردند. محققین مذکور دریافتند که افزودن فیبر گیاهی مذکور سبب افزایش سفتی بافت نان و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید. بر اساس بررسی منابع صورت گرفته تاکنون گزارشی در خصوص استفاده توأم از خمیرترش جو دوسر و پودر عناب در فرآوری نان گندم ارائه نشده است. لذا هدف از این مطالعه، ارزیابی تأثیر استفاده توأم از جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب بر بافت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان گندم تولیدی بود.

1 *Lactobacillus plantarum*

2 *Lactobacillus brevis*

مواد و روش‌ها

آرد جو دوسر مصرفی از آسیاب کردن دانه کامل جو دوسر (مخلوطی از چند واریته)، تهیه شد و سپس توسط الک با مش ۴۵ فرآوری گردید. آرد گندم مورد استفاده نیز از کارخانه آرد زاهدی گرگان تأمین شد. خصوصیات آردهای مذکور (چربی، پروتئین، خاکستر) بر اساس روش‌های مدون (AACC, 2010) تعیین گردید. برای تهیه پودر عناب، این میوه ابتدا هسته‌گیری و سپس با استفاده از آون (Binder, FD53, Germany) ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت تا رطوبت شش درصد خشک شده و در انتها توسط آسیاب (آسان توس شرق، ایران) به پودر تبدیل گردید. ویژگی‌های عناب مصرفی (پروتئین و کربوهیدرات کل) نیز بر اساس دستورالعمل‌های AOAC (2003) مشخص شد.

تامین کشت آغازگر

کشت آغازگر (*پدیوکوکوس پنتوزاسئوس*[1]) مورد استفاده در این پژوهش از جدایه لاکتیکی غالب خمیرترش جو دوسر که قبلا با توالی‌یابی محصولات PCR تأیید شناسایی شده بود تأمین گردید (حاجی‌نیا و همکاران، ۲۰۲۰).

فرآوری تخمیر کنترل شده جو دوسر

برای اعمال تخمیر کنترل شده جو دوسر، جدایه *پدیوکوکوس پنتوزاسئوس* در محیط کشت MRS broth در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تا ایجاد CFU/mL ۱۰^۸، کشت داده شد. سپس مخلوط آرد جو دوسر و آب با بازده خمیر ۲۰۰ (نسبت خمیر به آرد ×۱۰۰) تهیه شده و باکتری مذکور با جمعیت معادل CFU/mL ۱۰^۸ به آن افزوده شد. نهایتاً مخلوط مذکور در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت تخمیر گردید (Huttner *et al*., 2010).

فرآوری نان

برای تهیه نان شاهد از مخلوط آرد گندم، آب و دو درصد وزنی از مخمر خشک فعال *ساکارومایسس سرویزیه*[2] استفاده گردید. مرحله نخست تخمیر این مخلوط در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه و تخمیر نهایی آن پس از تقسیم کردن به قطعات ۱۵۰ گرمی در دمای ۴۲ درجه سلسیوس به مدت ۹۰ دقیقه صورت گرفت. سپس نمونه‌های تولیدی در دمای ۵±۱۸۰ درجه سلسیوس و به مدت ۲۵ دقیقه در فر الکتریکی هوای داغ (Feller, Germany)، پخته شدند. برای تهیه نان حاوی جو دوسر تخمیر شده، نسبت ۲۵ درصد وزنی از جو دوسر تخمیر شده، قبل از تخمیر نهایی به خمیر مشابه نمونه شاهد افزوده شد. جهت آماده‌سازی نان حاوی پودر عناب نیز مقدار ۱۰ درصد پودر عناب نسبت به وزن آرد، قبل از تخمیر نهایی به خمیر مشابه نمونه شاهد، افزوده گردید. برای تهیه نان حاوی جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب نیز مخلوط جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب، مشابه موارد قبلی به فرمولاسیون خمیر نمونه شاهد، افزوده شد. سپس نان‌های مذکور تحت شرایط یکسان تخمیر و پخت، فرآوری گردیدند. لازم به ذکر است که بر اساس نتایج پیش‌تیمارهای اعمال شده، مقادیر انتخابی سوبستراهای مورد استفاده در فرآوری نان‌های تولیدی منجر به تولید با کیفیت‌ترین نمونه‌ها گردید. لذا در این پژوهش نیز به‌عنوان مقادیر بهینه سوبسترا مورد استفاده قرار گرفت.

سفتی بافت نان‌های تولیدی

برای بررسی میزان سفتی بافت مغز نان‌های تولیدی، پس از گذشت دو ساعت از پخت نان از آزمون بافت‌سنجی استفاده گردید. بدین منظور از دستگاه بافت‌سنج (TAXT, Plus Stable Micro Systems, England) برای انجام آزمون نفوذ در نمونه‌ها با پروب استوانه‌ای به قطر ۱/۲۷ سانتی‌متر، سرعت پروب یک میلی‌متر در ثانیه و نقطه شروع ۵۰ گرم استفاده شد. نیروی لازم جهت ایجاد ۵۰ درصد فشردگی در ضخامت اولیه با رسم منحنی نیرو- فاصله به‌عنوان سفتی بافت مغز نان اندازه‌گیری شد (Katina *et al*., 2006).

میزان تخلخل مغز نان

بدین منظور از روش پردازش تصاویر اسکن شده نان تولیدی به کمک نرم‌افزار Image J (نسخه 1.42e) و با محاسبه نسبت نقاط روشن به نقاط تاریک به‌عنوان شاخصی از میزان تخلخل نان استفاده گردید (Chiavaro *et al*., 2008).

حجم مخصوص

حجم مخصوص نان‌های تولیدی به روش جابه‌جایی دانه کلزا بر اساس استاندارد A-A-20126E METRIC تعیین و با نمونه شاهد مقایسه گردید (Katina *et al*., 2006).

آزمون‌های بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی

تهیه عصاره متانولی

پنج گرم از هر نمونه نان با ۵۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد، مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در g ۴۶۰۰ سانتریفوژ (Hanil, R1245, South Korea) گردید. سپس از روماند حاصل برای تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار ترکیبات فنولی تام در نمونه‌های تولیدی استفاده شد (Yu *et al*., 2003).

---

1 *Pediococcus pentosaceus*

2 *Saccharomyces cerevisiae*

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش مهار رادیکال آزاد DPPH[1]

به‌منظور ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش مهار رادیکال DPPH (که در طول موج ۵۱۷ نانومتر جذب قوی و رنگ ارغوانی ایجاد می‌کند) دو میلی‌لیتر از عصاره نمونه‌ها به دو میلی‌لیتر محلول اتانولی ۰/۱ میلی‌مولار DPPH افزوده شد. در ادامه با تعیین جذب نمونه‌ها و نمونه شاهد در ۵۱۷ نانومتر و استفاده از فرمول محاسباتی، درصد مهار رادیکال آزاد مشخص گردید (Shimada *et al.*, 1992).

$$\text{درصد مهار رادیکال آزاد DPPH} = \frac{\text{جذب شاهد} - \text{جذب نمونه}}{\text{جذب شاهد}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

تعیین مقدار ترکیبات فنولی تام

برای تعیین مقدار ترکیبات فنولی تام، معرف فولین سیوکالته و کربنات سدیم به عصاره متانولی نمونه افزوده شد و پس از قرارگیری در تاریکی، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانش گردید. سپس با استفاده از معادله خط حاصل از نمونه استاندارد (اسید گالیک)، مقدار ترکیبات فنولی تعیین شد (Singleton and Rossi, 1965).

خصوصیات حسی نان

برای بررسی پذیرش کلی نان‌های تولیدی از آزمون چشایی دو ساعت پس از پخت بر اساس روش هدونیک پنج نقطه‌ای استفاده گردید. برای این منظور، ارزیابان آموزش دیده، خصوصیات نان‌های تولیدی (شامل رنگ پوسته، عطر و طعم، قابلیت جویدن، شکل و خاصیت ارتجاعی) را بر مبنای مقیاس یک تا پنج (یک، کمترین و پنج، بیشترین امتیاز) ارزیابی کردند و سپس میانگین نظرات هر ارزیاب برای هر کدام از تیمارها تعیین و به عنوان پذیرش کلی به صورت میانگین ± انحراف معیار ارایه شد (Katina *et al.*, 2006).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج حاصل از این پژوهش بر اساس طرح ساده کاملاً تصادفی در سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۰) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) در سطح $p<۰/۰۵$ انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های مواد اولیه

بر اساس نتایج آزمون‌های مرجع، آرد جو دوسر مورد استفاده در این پژوهش، دارای ۶/۶۳ درصد چربی، ۷/۷۸ درصد پروتئین و ۱/۲۵ درصد خاکستر بود. عناب نیز حاوی ۱/۲ درصد پروتئین و ۳۰/۴ درصد کربوهیدرات کل بود. علاوه بر این، آرد گندم ستاره مورد استفاده با درصد استخراج ۶۸٪ حاوی ۱۰/۲ درصد پروتئین ، ۰/۴۵ درصد خاکستر و ۱۴/۲ درصد رطوبت بود. مقایسه ویژگی‌های نان‌های گندم تولیدی حاوی مقادیر انتخابی جو دوسر تخمیر شده (۲۵درصد)، پودر عناب (۱۰ درصد) و مخلوط آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقایسه ویژگی‌های بافتی نان‌های تولیدی

نمونه	سفتی بافت (N)	تخلخل (%)	حجم مخصوص (Cm^3/g)
شاهد	$۴/۲۶\pm ۰/۰۱^{c}$	$۱۱/۷۳\pm ۰/۳۵^{b}$	$۳/۷\pm ۰/۱۴^{a}$
جو دوسر تخمیر شده	$۶/۱۷\pm ۰/۶۲^{b}$	$۱۶/۸۳\pm ۲/۳۱^{a}$	$۲/۶۱\pm ۰/۱۵^{b}$
پودر عناب	$۶/۱۳\pm ۰/۶۵^{b}$	$۱۵/۳۰\pm ۰/۲۸^{a}$	$۲/۷۷\pm ۰/۱۷^{b}$
جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب	$۷/۸۷\pm ۰/۳۶^{a}$	$۱۵/۰۵\pm ۰/۳۵^{a}$	$۲/۱۴\pm ۰/۱۱^{c}$

حروف متفاوت در هر ستون، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $p<۰/۰۵$ هستند.

سفتی بافت

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود نان گندم حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب به شکل معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) از سفتی بافت بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار بود. همچنین بین نمونه حاوی پودر عناب (به تنهایی) و نمونه حاوی جو دوسر تخمیر شده، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و میزان سفتی بافت نمونه شاهد به شکل معنی‌داری از سایر نمونه‌ها کمتر بود.

Banu و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که استفاده از سبوس جو دوسر در نان گندم باعث افزایش سفتی نان تولیدی شد که دلیل آن را به حضور سبوس جو دوسر نسبت دادند. همچنین Rozylo و همکاران (۲۰۱۴) نیز اذعان داشتند که با افزایش مقدار جو دوسر در نان تولیدی، میزان سفتی بافت آن افزایش یافت و دلیل آن را به محتوای فیبر آرد مصرفی مرتبط دانستند. Karrar و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که افزودن خمیرترش سورگوم به نان، سبب افزایش میزان سفتی بافت

1 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

محصول تولیدی گردید. در طی تخمیر خمیرترش، باکتری‌های اسید لاکتیک با تولید برخی متابولیت‌ها نظیر اسیدهای آلی، اگزوپلی‌ساکاریدها و یا آنزیم‌ها بر ساختار پروتئین و نشاسته آرد تأثیر می‌گذارند (Arendt *et al*., 2007). اگرچه استفاده از خمیرترش عمدتا سبب کاهش سفتی بافت می‌گردد اما اثرات سوبسترای مصرفی نیز در این امر، حایز اهمیت است. در پژوهش حاضر، احتمالا اثر محتوای فیبر جو دوسر بر بافت نان بیشتر از اثرات تخمیر خمیرترشی بوده و برآیند آنها سفتی بافت نان تولیدی را در پی داشته است. نتایج پژوهش Purabdolah و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که با افزودن بلوط تخمیر شده به نان گندم، سفتی بافت نان تولیدی افزایش یافت. این محققین گزارش کردند در نان‌های حاوی بلوط به سبب حضور فیبر، سیستم مویینه‌ای ایجاد می‌شود که منجر به انتقال آب از مغز نان و متعاقبا افزایش دانسیته و سفتی بافت نان به‌واسطه کاهش حجم مخصوص آن می‌گردد.

طبق گزارش Bae و همکاران (۲۰۰۵) با افزودن عصاره عناب به نان سفید، سفتی بافت نان‌های تولیدی افزایش یافت. وطن‌دوست و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش نمودند که افزودن مقادیر بیش از ۱۰ درصد آرد سنجد به جای آرد گندم، منجر به افزایش سفتی نان‌های تولیدی گردید. این محققین، علت پدیده مذکور را به کاهش حجم و همچنین ضخیم شدن دیواره‌های اطراف حبابچه‌های هوای موجود در مغز نان نسبت دادند. Mildner-Szkudlarz و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که استفاده توأم از تخمیر کنترل شده چاودار و فراورده‌های جانبی انگور سبب افزایش سفتی بافت نان تولیدی گردید. این محققین، دلیل احتمالی پدیده مذکور را جذب بیشتر آب توسط فیبرهای موجود در خمیر و خارج کردن آب از دسترس اجزای آرد (گلوتن و نشاسته) دانستند. بر این اساس، در اثر ایجاد پیوندهای هیدروژنی بیشتر بین گروه‌های هیدروکسیل پلی‌ساکاریدها با آب، آزادی عمل آب به‌عنوان نرم‌کننده بافت کاهش می‌یابد. علاوه بر این، میزان سفتی بافت متفاوت در نان‌های حاوی ترکیبات فنولی می‌تواند تحت تاثیر فعالیت آنزیمی و فعالیت مخمری قرار گیرد (Wang *et al*., 2007). Turchetti و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که کاتچین‌ها قادر به مهار فعالیت مخمر بوده و باعث ایجاد قابلیت تولید گاز ضعیف‌تری می‌شوند.

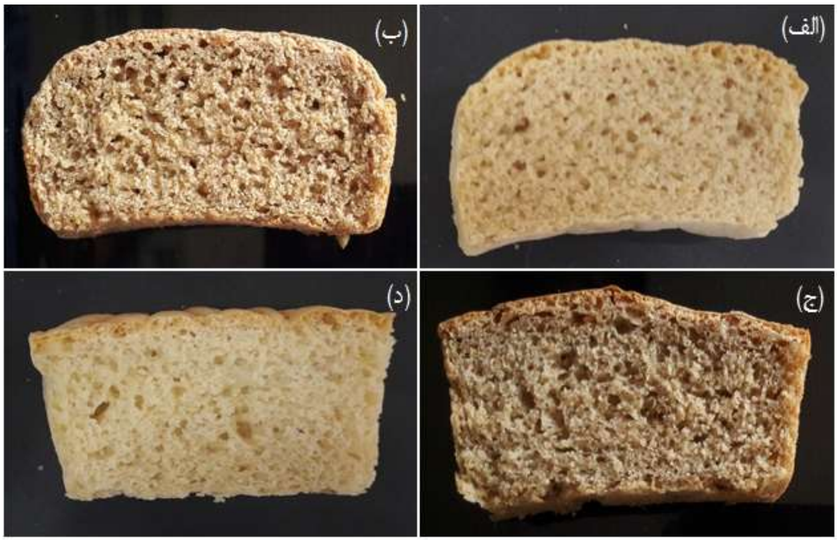
میزان تخلخل

با توجه به جدول ۱ میزان تخلخل در نمونه شاهد به شکل معنی‌داری ($p<0/05$) از سایر نمونه‌ها کمتر بود (شکل ۱) و بین میزان تخلخل سایر نمونه‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

عمدتا تخمیر خمیرترشی سبب افزایش تخلخل نان تولیدی در اثر تخمیر می‌شود. افزایش تولید گاز توسط کشت‌های لاکتیکی هتروفرمنتاتیو یا اثر متقابل مخمر و باکتری اسید لاکتیک و همچنین پایداری حباب گاز تولید شده توسط سایر متابولیت‌های میکروبی نظیر اگزوپلی‌ساکاریدها از عوامل مؤثر بر افزایش تخلخل می‌باشند (Arendt *et al*., 2007). Bartkiene و همکاران (۲۰۱۷) نیز میزان تخلخل در نان‌های چاودار حاوی چهار سطح مختلف (۵ تا۲۰ درصد) از خمیرترش‌های جو و جو دوسر را مورد بررسی قرار دادند. این محققین، گزارش نمودند که استفاده از خمیرترش در تولید نان چاودار سبب کاهش تخلخل گردید. تولید متابولیت‌هایی نظیر اسیدهای آلی در نان فرآوری شده با خمیرترش، سبب افزایش تخلخل، تغییر در فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و افزایش نرمی بافت نان می‌گردد. استفاده از دمای بالاتر تخمیر، افزودن مقدار آب بیشتر در خمیرترش و استفاده از آرد کامل می‌تواند تولید اسید را در حین تخمیر خمیرترش افزایش دهد و با تولید اسید، میزان تخلخل نیز افزایش یابد (Katina *et al*., 2006). Dachana و همکاران (۲۰۱۰) طی مطالعات خود گزارش کردند که افزودن ترکیباتی نظیر سبوس و فیبر، سبب افزایش سفتی خمیر گشته و صمغی شدن را کاهش می‌دهد که کاهش حالت صمغی شدن در افزایش تخلخل تاثیر دارد. تخمیر باعث متعادل کردن میزان فیبرهای محلول و نامحلول می‌شود. در طی این فرایند میزان آرابینوگزیلان‌ها افزایش می‌یابد (Flander *et al*. 2008). آرابینوگزیلان‌ها به‌عنوان یکی از منابع فیبری موجود در جو دوسر و گندم به‌وسیله افزایش ویسکوزیته در فاز آبی خمیر باعث تثبیت سلول‌های گازی و متعاقبا افزایش تخلخل محصول می‌گردند (Courtin and Delcour, 2002).

با رقیق شدن گلوتن، ظرفیت نگهداری آب در خمیر و تعامل بین فیبر و پروتئین‌های غیر گلوتن افزایش پیدا می‌کند. همچنین افزایش تخلخل به افزایش قابلیت توسعه و تضعیف شبکه گلوتن نسبت داده می‌شود که باعث افزایش تعداد و توزیع مناسب سلول‌های گازی و نهایتا بهبود تخلخل نان می‌شود (Sabanis *et al*., 2009).

نتایج پژوهش Kim و Lee (۲۰۱۲) نشان داد که افزودن مقادیر مختلف پودر عناب به فراورده‌های آردی سبب افزایش تخلخل نمونه تولیدی گردید. این محققین دلیل این پدیده را به کاهش pH در اثر افزودن پودر عناب، نسبت دادند. همچنین افزایش میزان تخلخل را می‌توان به تغییر ترکیبات خمیر (رقیق شدن گلوتن) و در نتیجه افزایش قدرت انبساط و نگهداری گاز در خمیر نسبت داد که منجر به افزایش تعداد حفرات تشکیل شده در بافت محصول تولیدی و تخلخل بیشتر آن می‌گردد (وطن دوست و همکاران، ۲۰۱۵). صادقی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که استفاده توأم از خمیرترش سبوس برنج و پوره کدو سبز باعث افزایش تخلخل نان‌های تولیدی گردید که با نتایج پژوهش حاضر همسو بود. دلیل افزایش تخلخل در نان‌های تولیدی را می‌توان به افزایش مقدار فیبر نسبت داد که سبب ثبات بهتر حباب‌های گاز در حین پخت می‌شود (Rozylo *et al*., 2014).



شکل ۱- تخلخل مغز نان‌های گندم حاوی جو دوسر تخمیر شده (الف)، مخلوط جو دوسر تخمیر شده و پودر عناب (ب) و پودر عناب به تنهایی (ج) در مقایسه با نمونه شاهد (د).

حجم مخصوص

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است نمونه شاهد به شکل معنی‌داری (p<۰/۰۵) نسبت به سایر نمونه‌ها دارای حجم مخصوص بیشتری بود. بین نمونه حاوی پودر عناب (به تنهایی) و نمونه حاوی جو دوسر تخمیر شده، تفاوت معنی‌داری به لحاظ حجم مخصوص مشاهده نشد و نمونه حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب، کمترین میزان حجم مخصوص را دارا بود.

نتایج پژوهش Karrar و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که افزودن خمیرترش سورگوم سبب کاهش میزان حجم مخصوص در نان تولیدی گردید. Rieder و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که استفاده از خمیرترش باعث کاهش حجم مخصوص در نان گندم غنی شده با جو و جو دوسر گردید. همچنین Rozylo و همکاران (۲۰۱۴) گزارش نمودند که استفاده از جو دوسر در نان گندم تولیدی منجر به کاهش حجم محصول تولیدی شد. نتایج محققین دیگر نیز حاکی از کاهش حجم نان در اثر جایگزینی گندم با آرد جو دوسر بود. این پدیده، تحت تأثیر خواص رئولوژیکی خمیر قرار می‌گیرد که به دلیل حضور ترکیباتی مانند پروتئین‌های غیرگلوتن می‌باشد (Mariotti *et al*. 2006). حجم مخصوص نان خمیرترشی تحت تأثیر مستقیم pH بر ساختار خمیر، اثر اسید بر آنزیم‌های غلات و همچنین تولید دی‌اکسید کربن توسط باکتری‌های اسید لاکتیک هتروفرمنتاتیو قرار می‌گیرد (Clarke *et al*., 2004). کاهش حجم مخصوص در نان گندم خمیرترشی به کاهش ظرفیت گلوتن برای حفظ دی‌اکسید کربن ارتباط دارد (Gobbetti *et al*., 2014).

سیروس و همکاران (۲۰۱۸) نیز با تهیه نان گندم با استفاده از مقادیر مختلف عصاره عناب و بررسی نان‌های تولیدی گزارش کردند که حجم مخصوص نان‌های تولیدی با افزایش میزان عصاره عناب، کاهش یافت. Mildner-Szkudlarz و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که استفاده توأم از تخمیر کنترل شده چاودار و فراورده‌های جانبی انگور باعث کاهش حجم نان‌های تولیدی در مقایسه با نمونه شاهد گردید. میزان بخار آب تولید شده و دی‌اکسید کربن و همچنین میزان تغییرات آن در طی پخت بر حجم خمیر موثر است. به علاوه، عوامل نگهدارنده آب و افزودنی‌های شرکت‌کننده در فرایند پخت نیز تعیین‌کننده میزان افزایش حجم نان هستند. بر همین اساس با جایگزینی پودر عناب در تولید نان، مقدار گلوتن کاهش یافته و در نتیجه توسعه شبکه گلوتنی مختل شده و قدرت نگهداری گاز در خمیر کاهش یافت (وطن دوست و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این، رقابت فیبرهای موجود در پودر عناب با اجزای آرد در جذب آب باعث می‌شود شبکه گلوتنی به‌خوبی و به میزان کافی آب جذب نکند لذا توسعه شبکه گلوتن، مختل شده و حجم نان نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌یابد (Kim and Lee, 2012).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان‌های تولیدی

نتایج حاصل از مقایسه قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH و محتوای ترکیبات فنولی تام در نان‌های تولیدی در جدول ۲ نشان داده شده است.

بررسی قابلیت مهار رادیکال DPPH

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH در نمونه حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب و نمونه حاوی پودر عناب (به تنهایی) به شکل معنی‌داری (p<۰/۰۵) از

سایر نمونه‌ها بیشتر بود. کمترین میزان این قابلیت نیز در نمونه شاهد مشاهده گردید.Đorđević و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که جو و چاودار، دارای قابلیت بالایی در مهار رادیکال آزاد DPPH بودند. همچنین Madhujith و Shahidi (۲۰۰۶) اظهار نمودند که جو، حاوی مقادیر قابل توجهی آنتی‌اکسیدان‌های فنولی است که به‌طور مؤثری باعث مهار رادیکال‌های آزاد به‌ویژه رادیکال‌های DPPH، پروکسیل و هیدروکسیل می‌شوند. نتایج پژوهش Brindzova و همکاران (۲۰۰۹) حاکی از آن بود که در نان گندم غنی شده با مخلوط جو دوسر و باکویت، قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH افزایش یافت. Coda و همکاران (۲۰۱۱) نیز با بررسی قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH در خمیرترش‌های مختلف دریافتند که بیشترین میزان قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH در خمیرترش حاصل از آرد کامل گندم با ۴۸ درصد و پس از آن در خمیرترش‌های کاموت (۳۹ درصد)، ارزن (۳۷/۳ درصد) و چاودار (۳۵/۴ درصد) وجود داشت. مطالعه مذکور نشان داد که باکتری‌های اسید لاکتیک منتخب از توانایی سنتز پپتیدهای آنتی‌اکسیدانی در طی تخمیر خمیرترش آردهای مختلف غلات برخوردارند. بسیاری از انواع غلات به لحاظ تکامل، گونه‌های نزدیک به یکدیگر هستند اما عوامل متعددی مانند سطح بالای پلی‌مورفیسم، نسبت بین پروتئین‌های مختلف (طبقه‌بندی از نظر حلالیت)، ترکیب و توالی اسیدهای آمینه و جرم مولکولی منحصر به فرد پلی‌پپتیدها منجر به تفاوت آن‌ها می‌شود. علاوه بر این، ویژگی‌های فناوری، ساختاری، تغذیه‌ای و عملکردی نیز در این آردها متفاوت بوده و لذا تفاوت در خواص عملکردی پپتیدهای حاصل از غلات مختلف را به دنبال دارد (Madhujith and Shahidi, 2006). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی خمیرترش به فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌های آن نیز مرتبط است. در طی تخمیر، مقدار ترکیبات فنولی یا فلاونوئیدها افزایش یافته و همچنین تخمیر سبب سنتز یا آزادسازی ترکیبات مختلفی می‌گردد که دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند (Hur *et al*., 2014). Kim و Lee (۲۰۱۲) با افزودن مقادیر مختلف پودر عناب به فراورده‌های پخت و بررسی قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH دریافتند که با افزایش مقادیر پودر عناب در نمونه‌های تولیدی، قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH افزایش یافت. Mildner-Szkudlarz و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که افزودن فراورده‌های جانبی انگور به نان خمیرترشی باعث افزایش قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH در نان‌های تولیدی گردید که دلیل آن را به حضور ترکیبات فنولی نظیر کاتچین‌ها و پروسیانیدین‌ها نسبت دادند که دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی می‌باشند.

جدول ۲- مقایسه قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH و محتوای ترکیبات فنولی تام در نان‌های تولیدی

نمونه	قابلیت مهار رادیکال DPPH (٪)	ترکیبات فنولی تام (میلی‌گرم معادل گالیک اسید به ازای هر صد گرم عصاره)
شاهد	۱۹/۴۱± ۲/۱۴c	۲/۵۷± ۰/۴۶c
جو دوسر تخمیر شده	۶۹/۸۹± ۳/۴۷b	۳/۷۲± ۰/ ۳۰bc
پودر عناب	۹۰/۰۳± ۰/۴۶a	۴/۴۵± ۰/۴۳b
جو دوسر تخمیر شده + پودر عناب	۹۰/۵۲± ۰/۲۳a	۱۰/۰۱± ۰/۹۶a

حروف متفاوت در هر ستون، مبین تفاوت معنی‌دار (p<۰/۰۵) هستند.

ارزیابی مقدار ترکیبات فنولی تام

مقایسه مقدار فنول تام در نان‌های تولیدی نشان داد که میزان ترکیبات فنولی تام در نان حاوی مخلوط جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب نسبت به سایر نمونه‌ها به شکل معنی‌داری (p<۰/۰۵) بیشتر بود. همچنین کمترین میزان ترکیبات فنولی تام مربوط به نمونه شاهد بود اما نمونه مذکور با نمونه حاوی جو دوسر تخمیر شده، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

Đorđević و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر تخمیر بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی برخی غلات و شبه غلات را مورد بررسی قرار دادند. این محققین از مقایسه میزان ترکیبات فنولی بین نمونه‌های تخمیر شده و تخمیر نشده دریافتند که تخمیر به شکل معنی‌داری باعث افزایش میزان ترکیبات فنولی در نمونه‌های مورد مطالعه شد. این میزان در جو تخمیر نشده ۱۶/۴ (میلی‌گرم معادل گالیک اسید به ازای هر گرم عصاره) و در نمونه تخمیر شده با باکتری اسید لاکتیک ۲۰/۱ (میلی‌گرم معادل گالیک اسید به ازای هر گرم عصاره) گزارش گردید. Liukkonen و همکاران (۲۰۰۳) نیز با بررسی سطح ترکیبات فنولی در نان خمیرترشی چاودار دریافتند که قابلیت آنتی‌اکسیدانی نان‌های حاوی خمیرترش چاودار بیشتر از نان‌های گندم سفید بود و تخمیر خمیرترش سبب افزایش سطح ترکیبات فنولی قابل استخراج گردید. Peng و همکاران (۲۰۱۰) طی پژوهشی گزارش کردند که افزودن عصاره هسته انگور به نان گندم، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نان تولیدی گردید. Balestra و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که در نان‌های گندم تولیدی حاوی پودر زنجبیل، نمونه حاوی بالاترین میزان زنجبیل، بیشترین مقدار فنول تام را دارا بود اما ویژگی‌های رئولوژی و حسی این

نمونه قابل قبول نبود. این محققین دریافتند که نان گندم حاوی سه درصد پودر زنجبیل دارای خصوصیات رئولوژی مناسب و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به مراتب بیشتری نسبت به نمونه شاهد و بیشترین میزان پذیرش حسی بود.

سبزیجات، میوه‌ها و غلات کامل، سرشار از اجزاء فیتوشیمیایی نظیر ترکیبات فنولی هستند. افزودن ترکیبات فنولی در نان، علاوه بر بهبود خاصیت آنتی‌اکسیدانی به دلیل اثرات متقابل مختلف با ترکیبات آرد نظیر گلوتن و نشاسته بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خمیر و ویژگی‌های کیفی نان همچون حجم، بافت و ویژگی‌های حسی تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، ترکیبات فنولی ممکن است از ایجاد ترکیبات سرطان‌زا مانند آکریلامید هنگام پخت جلوگیری نموده و لذا به‌عنوان یک عامل ضدسرطان در سیستم‌های غذایی عمل کنند (Xu *et al.*, 2019).

پذیرش کلی

مقایسه ویژگی‌های حسی بین نان‌های تولیدی نشان داد که اختلاف معنی‌داری (*p*<۰/۰۵) بین هیچ یک از نمونه‌ها به لحاظ رنگ پوسته، عطر و طعم و شکل وجود نداشت (جدول ۳). میزان قابلیت جویدن در نمونه شاهد به شکل معنی‌داری از سایر نمونه‌ها بیشتر بود که دلیل آن را می‌توان به افزایش سفتی بافت نان‌های تولیدی در مقایسه با نمونه شاهد نسبت داد که متعاقبا سبب کاهش قابلیت جویدن آن گردید. همچنین نمونه شاهد دارای قابلیت ارتجاعی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها بود اما با نان‌های حاوی پودر عناب (به تنهایی) و جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب از این نظر تفاوت معنی‌داری نداشت. در مجموع برآیند این ویژگی‌ها سبب شد تا نان‌های تولیدی به لحاظ پذیرش کلی نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته باشند.

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های حسی نان‌های تولیدی

نمونه	رنگ پوسته	عطر و طعم	قابلیت جویدن	شکل	قابلیت ارتجاعی	پذیرش کلی
شاهد	۴/۲۳± ۰/۷۲ ^{a}	۴/۳۰± ۰/۷۵ ^{a}	۴/۸۴± ۰/۳۷ ^{a}	۴/۰۷± ۰/۸۶ ^{a}	۴/۰۷± ۰/۷۵ ^{a}	۴/۳۱± ۰/۴۰ ^{a}
جو دوسر تخمیر شده	۴/۳۰± ۰/۷۵ ^{a}	۴/۳۰± ۰/۶۳ ^{a}	۳/۶۱± ۰/۹۶ ^{b}	۳/۸۴± ۱/۳۴ ^{a}	۳/۰۷± ۰/۹۵ ^{b}	۳/۸۰± ۰/۷۲ ^{a}
پودر عناب	۴/۲۳± ۱/۰۱ ^{a}	۴/۵۳± ۰/۶۶ ^{a}	۳/۷۶± ۱/۲۳ ^{b}	۴/۳۸± ۱/۲۶ ^{a}	۳/۷۶± ۱/۰۹ ^{ab}	۴/۱۳± ۰/۷۰ ^{a}
جو دوسر تخمیر شده + پودر عناب	۴/۱۵± ۰/۸۹ ^{a}	۴/۶۱± ۰/۶۵ ^{a}	۳/۴۶± ۱/۳۳ ^{b}	۴/۶۹± ۰/۶۳ ^{a}	۳/۶۱± ۱/۳۲ ^{ab}	۴/۱۰± ۰/۷۸ ^{a}

حروف متفاوت در هر ستون، مبین تفاوت معنی‌دار (*p*<۰/۰۵) هستند.

در پژوهش Bartkiene و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد که افزودن مقادیر مختلف هر یک از خمیرترش‌های غلات به نان، سبب افزایش پذیرش نان تولیدی در مقایسه با نان فاقد خمیرترش شد. همچنین نان حاوی ۲۰ درصد خمیرترش، بالاترین میزان پذیرش را به‌خود اختصاص داد. هنگام استفاده از خمیرترش، بهبود عطر و طعم نان گندم به یک فرآیند کنترل شده با دقت بالا نیاز دارد زیرا اسیدیته بیش از حد به‌عنوان یک طعم ترش یا تند در نان ظاهر می‌شود. کشت آغازگر، محتوای خاکستر آرد، دمای تخمیر و بازده خمیر از عوامل مؤثر بر طعم نان هستند. تأثیر خمیرترش حاوی کشت‌های آغازگر لاکتیکی در افزایش عطر و طعم نان محرز گردیده است. همچنین تأثیر قابل توجه افزایش میزان خاکستر آرد و زمان تخمیر در تغییر طعم به احتمال زیاد به دلیل افزایش پروتئولیز، اسیدی شدن و تولید ترکیبات فرار است. افزایش پروتئولیز به دلیل فعالیت پروتئولیتیک بالاتر آرد سبوس‌دار منجر به تجمع اسیدهای آمینه در خمیرترش و متعاقباً در خمیر نان تولیدی می‌شود (Katina *et al.*, 2005). اسیدهای آمینه مانند لوسین و پرولین به‌عنوان پیش‌سازهای طعم مناسب در طی تخمیر و یا در واکنش مایلارد در هنگام پخت شناخته می‌شوند (Thiele *et al.*, 2002).

Bae و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که افزودن عصاره عناب به نان، سبب افزایش امتیاز پذیرش کلی نان تولیدی نسبت به نمونه شاهد گردید. نتایج پژوهش باباشاهی کوهانستانی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که جایگزینی مقدار ۳۰ درصد آرد سنجد با آرد گندم در تهیه کیک منجر به بهبود میزان پذیرش کلی گردید. نتایج آزمون ارزیابی حسی وطن‌دوست و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد که بین نمونه شاهد و نان‌های حاوی سنجد تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری وجود نداشت. نتایج پژوهش Karrar و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که میزان پذیرش کلی نان‌های تولیدی، طی استفاده توأم از خمیرترش سورگوم و پودر میوه کنار در مقایسه با نمونه شاهد، تفاوت معنی‌داری نداشت. احتمالاً حضور فیبر در نان‌های غنی‌شده سبب افزایش جذب آب گردیده و در ادامه، این پدیده منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش ثبات خمیر و افزایش پذیرش کلی محصول می‌شود (صادقی و همکاران، ۲۰۱۹).

نتیجه‌گیری

بررسی ویژگی‌های نان‌های تولیدی نشان داد تمامی نمونه‌ها از تخلخل بیشتری نسبت به نمونه کنترل برخوردار بودند. نمونه حاوی جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب دارای بیشترین میزان سفتی بافت بود اما به لحاظ پذیرش کلی تفاوت معنی‌داری با نمونه کنترل و سایر نمونه‌ها نداشت و بر این اساس، عطر وطعم نان‌های تولیدی مورد پذیرش مصرف‌کنندگان قرار گرفت. همچنین بین میزان سفتی نان‌های تولیدی و میزان حجم مخصوص رابطه عکس وجود داشت. نمونه‌های حاوی جو دوسر تخمیر شده+ پودر عناب و پودر عناب (به تنهایی) نیز بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به خود اختصاص دادند و نمونه شاهد، دارای کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود. لذا استفاده توأم از منابع غنی از فیبرهای گیاهی نظیر پودر عناب و آرد جو دوسر تخمیر شده که غنی از املاح و ریزمغذی‌ها هستند در بهبود خصوصیات تغذیه‌ای و کیفی نان به‌عنوان غذای اصلی خانوار می‌تواند به‌عنوان یک روش ساده و کارآمد مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

AACC International. 2010. Approved methods of the American association of cereal chemists. 11th Ed. The St. Paul.

AOAC Method. 2003. In official methods of analysis. Association of official analytical chemists. 17th Ed. Arlington, Virginia.

Arendt, E.K., Ryan, L.A. and Dal Bello, F., 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, *24*(2), 165-174.

Babashahi Kouhanestani, S., Abbasi, H. and Zamindar, N., 2019. The effects of oleaster flour, active gluten and sucrose replacement with potassium acesulfame and isomalt on the qualitative properties of functional sponge cakes. *Brazilian Journal of Food Technology*, *22*.

Bae, J.H., Lee, J.H., Kwon, K.I., Im, M.H., Park, G.S., Lee, J.G., Choi, H.J. and Jeong, S.Y., 2005. Quality characteristics of the white bread prepared by addition of jujube extracts. *Korean Journal of Food Science and Technology*, *37*(4), 603-610.

Balestra, F., Cocci, E., Pinnavaia, G. and Romani, S., 2011. Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT-Food Science and Technology*, *44*(3), 700-705.

Banu, I., Măcelaru, I. and Aprodu, I., 2017. Bioprocessing for improving the rheological properties of dough and quality of the wheat bread supplemented with oat bran. *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*(5), e13112.

Bartkiene, E., Bartkevics, V., Pugajeva, I., Krungleviciute, V., Mayrhofer, S. and Domig, K., 2017. Parameters of rye, wheat, barley, and oat sourdoughs fermented with *Lactobacillus plantarum* LUHS 135 that influence the quality of mixed rye–wheat bread, including acrylamide formation. *International Journal of Food Science & Technology*, *52*(6), 1473-1482.

Bastetti G. 2001. Breads produced in Italy. Part 1: Sours, preferments and starters. *American Institute of Baking. Technical Bulletin*, 23, 1-5.

Betoret, E. and Rosell, C.M., 2020. Enrichment of bread with fruits and vegetables: Trends and strategies to increase functionality. *Cereal Chemistry*, *00*, 1-11.

Brindzová, L., Mikušová, L. and Takácsová, M., 2009. Antioxidant effect of wheat bakery products supplemented with buckwheat, oat and barley β-D-glucan and their nutritional and sensory evaluation. *Proceedings of the 5th International Congress Flour-Bread '09. 7th Croatian Congress of Cereal Technologists*, 485-491.

Chiavaro, E., Vittadini, E., Musci, M., Bianchi, F. and Curti, E., 2008. Shelf-life stability of artisanally and industrially produced durum wheat sourdough bread ("Altamura bread"). *LWT-Food Science and Technology*, *41*(1), 58-70.

Clarke, C.I., Schober, T.J., Dockery, P., O'Sullivan, K. and Arendt, E.K., 2004. Wheat sourdough fermentation: effects of time and acidification on fundamental rheological properties. *Cereal Chemistry*, *81*(3), 409-417.

Coda, R., Rizzello, C.G., Trani, A. and Gobbetti, M., 2011. Manufacture and characterization of functional emmer beverages fermented by selected lactic acid bacteria. *Food Microbiology, 28*(3), 526-536.

Courtin, C.M. and Delcour, J.A., 2002. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *Journal of Cereal Science*, *35*(3), 225-243.

Dachana, K.B., Rajiv, J., Indrani, D. and Prakash, J., 2010. Effect of dried moringa (Moringa oleifera lam) leaves on rheological, microstructural, nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. *Journal of Food Quality*, *33*(5), 660-677.

Dhen, N., Rejeb, I.B., Boukhris, H., Damergi, C. and Gargouri, M., 2018. Physicochemical and sensory properties of wheat-Apricot kernels composite bread. *LWT-Food Science and Technology*, *95*, 262-267.

Đorđević, T.M., Šiler-Marinković, S.S. and Dimitrijević-Branković, S.I., 2010. Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. *Food Chemistry*, *119*(3), 957-963.

Flander, L., Rouau, X., Morel, M.H., Autio, K., Seppänen-Laakso, T., Kruus, K. and Buchert, J., 2008. Effects of laccase and xylanase on the chemical and rheological properties of oat and wheat doughs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(14), 5732-5742.

Gobbetti, M., Rizzello, C.G., Di Cagno, R. and De Angelis, M., 2014. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, *37*, 30-40.

Hajinia, F., Sadeghi, A., Sadeghi Mahoonak, A., Khomeiri, M., Maghsoudlou, Y. and Moayedi, A., 2020. Evaluation of probiotic and antifungal properties of the predominant LAB isolated from oat sourdough. *Journal of Food Hygiene*, *10*(37), 45-59 (In Persian).

Hur, S.J., Lee, S.Y., Kim, Y.C., Choi, I. and Kim, G.B., 2014. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, *160*, 346-356.

Hüttner, E.K., Dal Bello, F. and Arendt, E.K., 2010. Identification of lactic acid bacteria isolated from oat sourdoughs and investigation into their potential for the improvement of oat bread quality. *European Food Research and Technology*, *230*(6), 849-857.

Irakli, M., Mygdalia, A., Chatzopoulou, P. and Katsantonis, D., 2019. Impact of the combination of sourdough fermentation and hop extract addition on baking properties, antioxidant capacity and phenolics bioaccessibility of rice bran-enhanced bread. *Food Chemistry*, *285*, 231-239.

Karrar, E., Musa, A., Sheth, S., Huang, W., Sarpong, F. and Wang, X., 2020. Effect of sorghum sourdough and nabag (*zizyphus spina-christi*) pulp powder on dough fermentation and quality characteristics of bread. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*(1), 455-464.

Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K.H., Autio, K., Flander, L. and Poutanen, K., 2005. Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, *16*(1-3), 104-112.

Katina, K., Heiniö, R.L., Autio, K. and Poutanen, K., 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, *39*(10), 1189-1202.

Kim, E.J. and Lee, J.H., 2012. Qualities of muffins made with jujube powder. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, *41*(12), 1792-1797.

Li, J.W., Fan, L.P., Ding, S.D. and Ding, X.L., 2007. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube. *Food Chemistry*, *103*(2), 454-460.

Liukkonen, K.H., Katina, K., Wilhelmsson, A., Myllymaki, O., Lampi, A.M., Kariluoto, S., Piironen, V., Heinonen, S.M., Nurmi, T., Adlercreutz, H. and Peltoketo, A., 2003. Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, *62*(1), 117-122.

Madhujith, T. and Shahidi, F., 2006. Optimization of the extraction of antioxidative constituents of six barley cultivars and their antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(21), 8048-8057.

Mariotti, M., Lucisano, M. and Pagani, M.A., 2006. Development of a baking procedure for the production of oat-supplemented wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 151-157

Mildner-Szkudlarz, S., Zawirska-Wojtasiak, R., Szwengiel, A. and Pacyński, M., 2011. Use of grape by-product as a source of dietary fibre and phenolic compounds in sourdough mixed rye bread. *International Journal of Food Science & Technology*, *46*(7), 1485-1493.

Peng, X., Ma, J., Cheng, K.W., Jiang, Y., Chen, F. and Wang, M., 2010. The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. *Food Chemistry*, *119*(1), 49-53.

Peterson, D.M., Emmons, C.L. and Hibbs, A.H., 2001. Phenolic antioxidants and antioxidant activity in pearling fractions of oat groats. *Journal of Cereal Science*, *33*(1), 97-103.

Purabdolah, H., Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Kashaninejad, M., Tabarestani, H.S. and Mohamadzadeh, J., 2020. Techno-functional properties of the selected antifungal predominant LAB isolated from fermented acorn (Quercus persica). *Journal of Food Measurement and Characterization*,1-11.

Rieder, A., Holtekjølen, A.K., Sahlstrøm, S. and Moldestad, A., 2012. Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, *55*(1), 44-52.

Różyło, R., Dziki, D., Laskowski, J., Skonecki, S., Łysiak, G., Kulig, R. and Różyło, K., 2014. texture and sensory evaluation of composite wheat-oat bread prepared with novel two-phase method using oat yeast-fermented leaven. *Journal of Texture Studies*, *45*(3), 235-245.

Saadoudi, M., Hambaba, L., Abdeddaim, M., Lekbir, A., Bacha, A., Boudraa, S. and Zidani, S., 2017. Nutritional composition, physical properties and sensory evaluation of biscuit produced from jujubes (fruits of *Zizyphus lotus* L.). *Annual Review of Food Science and Technology*, *18*(3), 395-401.

Sabanis, D., Lebesi, D. and Tzia, C., 2009. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology*, *42*(8), 1380-1389.

Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Raeisi, M. and Mofidi, S.M.G., 2019. Improving the antioxidant capacity of bread rolls by controlled fermentation of rice bran and addition of pumpkin (*Cucurbita pepo*) puree. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*(4), 2837-2845.

Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, Nakamura T., 1992. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *40*(6), 945-8.

Singleton, V.L. and Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144-158.

Siroos, K., Davoodi, M.G. and Sadeghi, F., 2018. Technical knowledge of formulation and production of functional bread using jujube extracts and examining the physicochemical and sensory properties of the product. *International Journal of Advanced Life Sciences*, *11*(1), 1-8.

Thiele, C., Gänzle, M.G. and Vogel, R.F., 2002. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. *Cereal Chemistry*, *79*(1), 45-51.

Turchetti, B., Pinelli, P., Buzzini, P., Romani, A., Heimler, D., Franconi, F. and Martini, A., 2005. *In vitro* antimycotic activity of some plant extracts towards yeast and yeast-like strains. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, *19*(1), 44-49.

Vatandoust, S., Azizi, M.H., Hojjatoleslami, M., Molavi, H. and Raesi, Z., 2015. The effect of adding Eleaagnus angustifolia powder to quality characteristics of burger's bread. *Journal of Food Science and Technology*, *12*(49), 73-84 (In Persian).

Verardo, V., Glicerina, V., Cocci, E., Frenich, A.G., Romani, S. and Caboni, M.F., 2018. Determination of free and bound phenolic compounds and their antioxidant activity in buckwheat bread loaf, crust and crumb. *LWT- Food Science and Technology*, *87*, 217-224.

Wang, R., Zhou, W. and Isabelle, M., 2007. Comparison study of the effect of green tea extract (GTE) on the quality of bread by instrumental analysis and sensory evaluation. *Food Research International*, *40*(4), 470-479.

Xu, J., Wang, W. and Li, Y., 2019. Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review. *Journal of Functional Foods*, *52*, 629-639.

Yu, L., Perret, J., Harris, M., Wilson, J. and Haley, S., 2003. Antioxidant properties of bran extracts from “Akron” wheat grown at different locations. *Journal of Agriultural and Food Chemistry*, *51*(6), 1566-1570.

Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Vol. 17, No. 4, Oct- Nov 2021, p. 569-581

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۰، ص. ۵۸۱-۵۶۹

Combined effect of controlled fermented oat and jujube powder on texture and antioxidant activity of the produced wheat bread

F. Hajinia[1], A. R. Sadeghi[2*], A. R. Sadeghi Mahoonak[3], M. Khomeiri[3], Y. Maghsoudlou[3], A. Moayedi[4]

Received: 2020.05.24
Accepted: 2020.10.07

Introduction: Bread is the main source of nutrients and it is a cheap staple food in the daily diet of people in many parts of the world. One of the most important ways to improve the quality of bread is to ferment cereals and use fruit resources. Cereal fermentation has a well-known potential to improve the nutritional properties of the baked goods. It stabilizes the levels of various bioactive compounds, retards starch retrogradation and increases mineral bioavailability. A diet rich in cereal and fruit-based products could improve human health. Oat grain has a high functional potential due to its composition. This grain is known to be an excellent source of dietary fiber, antioxidants and a well-balanced protein fraction. Jujube fruit is also getting popularized due to the high content of vitamins, phenolic, polysaccharides and natural colorant agents. The quality of available commercially jujube depends on the contents of its bioactive compounds and micronutrients. There is no report about simultaneous application of fermented oat and jujube powder in processing of wheat bread. Accordingly, the aims of this study were to produce a supplemented wheat bread containing these ingredients, and evaluate the textural and antioxidant properties of the product.

Materials and methods: In the present study, controlled fermented oat containing selected LAB isolated from oat sourdough (as starter culture) was used to produce supplemented wheat bread. Crumb hardness, porosity, specific volume, overall acceptability and antioxidant activity in wheat bread containing fermented oat, jujube powder and their mixture were investigated in comparison with the control (wheat bread). All the experiments were done in triplicates. A complete randomized design with the least significance difference (LSD) post-hock was also used to statistical analysis of the data at $P< 0.05$ by SPSS (version 20) software.

Results and Discussion: The highest amount of crumb hardness was observed in the sample containing mixture of controlled fermented oat and jujube powder, meanwhile the lowest amount of hardness was belonged to the control sample. The results of specific volume showed an inverse relationship between the values of hardness and specific volume, and the lowest specific volume was observed in sample containing controlled fermented oat along with jujube powder. The highest amount of specific volume was also observed in the control sample. The porosity of all the produced breads was also significantly ($P<0.05$) higher than the control sample, and the highest porosity was observed in the sample containing controlled fermented oat. The amount of produced gaseous compounds and carbon dioxide during fermentation affect the porosity of the produced bread. Furthermore, water retention capacity is also involved in increase in bread specific volume. Water reduces the stiffness of protein structures and allows better air to enter the dough texture and more specific volume of the product. Wheat breads containing controlled fermented oat + jujube powder and jujube powder (alone) had the highest antioxidant activity, and the control sample had the lowest antioxidant activity. During fermentation, the amount of phenolic compounds or flavonoids increases, and fermentation also causes the synthesis or release of various compounds that have antioxidant properties. Characterization of wheat bread containing the optimal formulation of controlled fermented oat and jujube powder didn't show significant effect on the overall acceptability of the product. The presence of fiber in fortified breads is likely to increase water uptake, which in turn increases water retention capacity, reduces dough stability and increases overall acceptability. Fruits and whole grains are rich in phytochemicals such as phenolic compounds. Application of phenolic compounds in bread processing, in addition to improve antioxidant properties, affects the physicochemical properties of the dough and the quality characteristics of the produced bread due to various interactions with flour compounds such as gluten and starch. Accordingly, the combined use of plant-rich resources such as jujube powder and fermented oat, which are rich in minerals and micronutrients, can

1, 2, 3 and 4. Former M.Sc student, Associate Professor, Professor, Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
(*Corresponding Author Email: sadeghi.gau@gmail.com)

be used to improve the nutritional and quality characteristics of the supplemented wheat bread as a simple and efficient method. Due to the adverse effects of chemical additives and improvers, the importance of providing natural alternatives such as fermented substrates and plant resources in wheat bread processing is quite necessary. The best alternatives for this purpose include sourdough and fiber-rich plant. Wheat bread containing a mixture of controlled fermented oat and jujube powder had the highest crumb hardness and the lowest specific volume. Antioxidant activity in all samples was significantly higher than the control sample and wheat bread containing a controlled fermented oat and jujube powder with 90.52% had the highest amount of antioxidant activity. According to the results, controlled fermented oat and jujube powder, as functional ingredients, may be successfully incorporated into the wheat bread with positively effects on its quality characteristics.

Keywords: Controlled fermented oat, jujube powder, antioxidant activity, enriched wheat bread.